

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-221838

(43)Date of publication of application : 17.08.2001

(51)Int.Cl.

G01R 33/02
H01L 43/00

(21)Application number : 2000-031578

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 09.02.2000

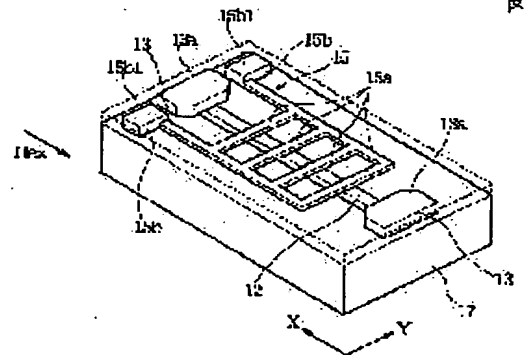
(72)Inventor : NAKABAYASHI AKIRA

(54) MAGNETIC IMPEDANCE EFFECT ELEMENT AND PRODUCTION METHOD THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To eliminate difficulties in the miniaturization of conventional magnetic impedance effect element, which requires formation of a winding coil on the circumference of a magnetosensitive part for applying a bias magnetic field.

SOLUTION: An electroconductive layer 15 having conductor parts 15a, 15a, 15a and 15a crossing the upper layer of a magnetosensitive part 12 is formed on the upper layer of the magnetosensitive part 12 via an insulation layer.



(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-221838

(P2001-221838A)

(43)公開日 平成13年8月17日(2001.8.17)

(51) Int.Cl.7

識別記号

FI

テーマト(参考)

G O I R 33/02

G O I R 33/02

D 2G017

H O 1 L 43/00

H O 1 L 43/00

審査請求 未請求 請求項の数36 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願2000-31578(P2000-31578)

(22)出願日 平成12年2月9日(2000.2.9)

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 中林 亮

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74) 代理人 100085453

弁理士 野▲崎▼ 照夫

Fターム(参考) 2G017 AA01 AB07 AC09 AD55 BA03

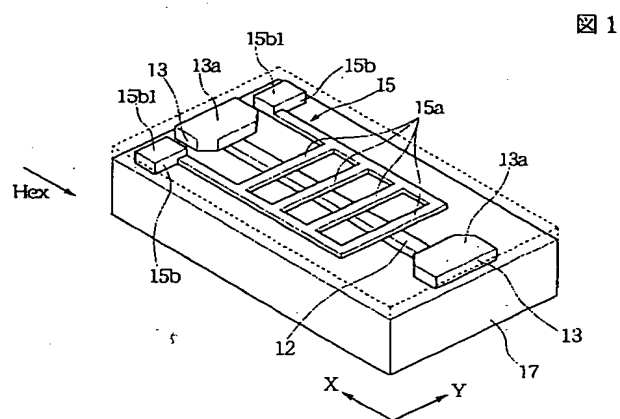
CA20 CB24 CC04 CD02

(54)【発明の名称】 磁気インピーダンス効果素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 従来の磁気インピーダンス効果素子では、バイアス磁界をかけるために、感磁部の周囲に巻線コイルを形成していたため小型化が困難であった。

【解決手段】 感磁部 12 の上層を横切る導体部 15 a, 15 a, 15 a, 15 a を有する導電層 15 を、感磁部 12 の上層に絶縁層を介して形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に磁気インピーダンス効果を有する軟磁性薄膜或いは薄帯を含む略長方形の感磁部と、前記感磁部の素子長手方向の両端部に接続されて駆動交流電流を与えるための電極部と、前記感磁部の上層または下層に絶縁層を介して少なくとも前記感磁部を横切る導体部及び前記導体部の両端部に接続され直流電流を与えるための導電層電極部を有する導電層とが形成されていることを特徴とする磁気インピーダンス効果素子。

【請求項2】 前記導電層は、前記感磁部を横切る導体部が前記感磁部の素子長手方向と垂直方向を向くように形成されている請求項1に記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項3】 前記導電層の前記感磁部を横切る導体部が互いに平行方向を向いて複数本形成されており、前記複数本の導体部の両端部が前記導電層電極部に接続されている請求項1または2に記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項4】 前記導電層が、スパイラル状に巻き形成されているコイル層である請求項1または2に記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項5】 前記感磁部と他の前記感磁部とが、それぞれの素子長手方向が互いに垂直方向を向くように形成され、かつスパイラル状に巻き形成された前記コイル層の1辺に前記感磁部が重なり、前記コイル層の他の1辺に他の前記感磁部が重なるように前記コイル層が形成されている請求項4に記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項6】 前記絶縁層及び前記導電層上に、絶縁材料からなる保護層が形成され、前記電極部表面及び前記導電層電極部表面が前記保護層表面の同一平面上に露出している請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項7】 前記導電層の前記導体部と、前記感磁部を横切る感磁部との距離が100 μ m以下である請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項8】 前記導電層に与えられる直流電流の大きさが500mA以下である請求項7に記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項9】 前記導電層の前記感磁部を横切る導体部と、前記感磁部との距離が10 μ m以下である請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項10】 前記導電層に与えられる直流電流の大きさが50mA以下である請求項9に記載の磁気インピーダンス効果素子。

【請求項11】 前記感磁部が、組成式が $F e_h M_i O_j$ で表され、アモルファス構造を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成されている請求項1ないし10のい

ずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h + i + j = 100$ の関係を満足するものである。

【請求項12】 前記感磁部が、組成式が $(C o_{1-c} T c) \times M y X z O_w$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜として形成されている請求項1ないし10のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y + z + w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【請求項13】 前記感磁部が、組成式が $T_{100-d-e-f-g} X_d M e Z f Q g$ で表され、 $b c c - F e$ 、 $b c c - F e C o$ 、 $b c c - C o$ の1種または2種以上の結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成されている請求項1ないし10のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはat%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するものである。

【請求項14】 前記感磁部が、組成式が $T_{100-p-q-e-f-g} S i p A l q M e Z f Q g$ で表され、 $b c c - F e$ 、 $b c c - F e C o$ 、 $b c c - C o$ の1種または2種以上の結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成されている請求項1ないし10のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはat%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 1$

5、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するものである。

【請求項15】 前記感磁部が、組成式が $(Fe_{1-a}Co_a)_{100-x-y}(Si_{1-b}Bb)_xMy$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄帯として形成されている請求項1ないし10のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは0、 $0.5 \leq a \leq 0.1$ 、 $0.2 \leq b \leq 0.8$ であり、x、yはat%で $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するものである。

【請求項16】 前記感磁部が、組成式が $Co_1Ta_mHf_n$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成されている請求項1ないし10のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【請求項17】 前記感磁部が、組成式が $Co_aZr_bNb_c$ で表されるアモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成されている請求項1ないし10のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、a、b、cはat%で、 $78 \leq a \leq 91$ 、 $0.5 \leq b/c \leq 0.8$ の関係を満足するものである。

【請求項18】 (a) 非磁性材料からなる基板上に、軟磁性薄膜を成膜する工程と、

(b) 前記軟磁性薄膜を、略長方形にパターン形成して感磁部を、少なくとも一つ、形成する工程と、

(c) 前記感磁部上に絶縁材料からなる絶縁層を成膜する工程と、

(d) 前記感磁部の素子長手方向の両端部に接続される電極部を形成する工程と、

(e) 前記絶縁層上に、少なくとも前記感磁部上を横切る導体部及び前記導体部の両端部に接続され直流電流が与えられる導電層電極部を有する導電層を成膜する工程と、

を有することを特徴とする磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項19】 前記(e)の工程において、前記感磁部を横切る導体部が前記感磁部の素子長手方向と垂直方向を向くように前記導電層を形成する請求項18に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項20】 前記(e)の工程において、前記感磁部を横切る導体部が、互いに平行方向を向くように複数本形成され、さらに前記複数本の導体部の両端部が前記導電層電極部に接続されるように前記導電層を形成する請求項18または19に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項21】 前記(e)の工程において、前記導電層をスパイラル状に巻き形成されたコイル層として形成する請求項18または19に記載の磁気インピーダンス

効果素子の製造方法。

【請求項22】 前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を一定方向の静磁場中で成膜する工程を有する請求項18ないし21のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項23】 前記(a)の工程において形成された前記軟磁性薄膜または、前記(b)の工程において形成された前記感磁部を一定方向の静磁場中で熱処理する工程を有する請求項18ないし22のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項24】 前記(b)の工程において、前記感磁部と他の前記感磁部をそれぞれの素子長手方向が互いに垂直方向を向くように形成し、

前記(e)の工程において、スパイラル状に巻き形成された前記コイル層の1辺に前記感磁部が重なり、前記コイル層の他の1辺に他の前記感磁部が重なるように前記コイル層を形成する請求項21に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項25】 前記(d)の工程と前記(e)の工程を同時に行なう請求項18ないし24のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項26】 前記(d)の工程において、前記電極層をその表面高さが、前記(e)の工程で形成される前記導電層の前記導体部の表面高さよりも高くなるように形成し、前記(e)の工程において、前記導電層を、前記導電層電極部の表面高さが前記導体部の表面高さよりも高くなるように形成し、さらに、前記(e)の工程の後に、

(f) 前記導電層上に、絶縁材料からなる保護層を形成する工程と、

(g) 前記保護層表面を研磨加工して、前記電極部表面及び前記導電層電極部表面を前記保護層表面の同一平面上に露出させる工程を有する請求項18ないし25のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項27】 前記(c)の工程において、前記絶縁層の厚さを $100 \mu m$ 以下で形成する請求項18ないし26のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項28】 前記(c)の工程において、前記絶縁層の厚さを $10 \mu m$ 以下で形成する請求項18ないし26のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項29】 前記(a)及び(b)の工程において、前記感磁部を成膜プロセスで形成する代わりに、軟磁性材料の溶融合金を冷却ロール上に射出させて接触急冷することにより軟磁性薄帯を形成し、前記軟磁性薄帯を前記基板上に接着する工程を有する請求項18ないし28に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項30】 前記(a)の工程において、前記軟磁

性薄膜を、組成式が $Fe_hM_iO_j$ で表され、アモルファス構造を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項18ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

【請求項31】 前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を、組成式が $(Co_{1-c}Tc)_xM_yX_zO_w$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項18ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxである。

【請求項32】 前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を、組成式が $T_{100-d-e-f-g}X_dM_eZ_fQ_g$ で表され、bcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Coの1種または2種以上の結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項18ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはat%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するものである。

【請求項33】 前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を、組成式が $T_{100-p-q-e-f-g}Si_pAl_qM_eZ_fQ_g$ で表され、bcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Coの1種または2種以上の結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項18ないし請求項28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、

Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはat%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するものである。

【請求項34】 前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜または前記軟磁性薄膜を、組成式が $(Fe_{1-a}Co_a)_{100-x-y}(Si_{1-b}Bb)_xMy$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄膜として形成する請求項18ないし請求項29のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは $0.05 \leq a \leq 0.1$ 、 $0.2 \leq b \leq 0.8$ であり、x、yはat%で $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するものである。

【請求項35】 前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を、組成式が $Co_lTa_mHf_n$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成する請求項18ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【請求項36】 前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を、組成式が $Co_aZr_bNb_c$ で表されるアモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成する請求項18ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、a、b、cはat%で、 $78 \leq a \leq 91$ 、 $0.5 \leq b/c \leq 0.8$ の関係を満足するものである。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁界センサとして利用できる磁気インピーダンス効果素子に係り、特に、検出磁界に対する出力の直線性に優れ、小型で低コストかつ量産性に優れた磁気インピーダンス効果素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、情報機器、計測機器、制御機器などの急速な発展に伴って、従来の磁束検出型のものより更に小型、高感度且つ高速応答性(高周波動作)の磁界センサが求められ、磁気インピーダンス効果(Magnetoo-Impedance-Effect)を有する素子(磁気インピーダンス効果素子)が注目されるようになってきている。

【0003】磁気インピーダンス効果素子は、微小交流電流をワイヤー状、リボン状、または薄膜状に形成された磁性線に印加することによって生じるインピーダンスによる出力電圧が外部印加磁界によって変化することを基本原理としている素子である。

【0004】外部磁界の印加による軟磁性材料からなる感磁部のインピーダンスの変化は、磁性材料に交流電流を通電したときに、交流電流がその表面近くを流れようとする「表皮効果」が、外部磁界によって変化するためであることが知られている。

【0005】磁気インピーダンス効果素子の感磁部には、当初アモルファスワイヤーが用いられていた。しかし、アモルファスワイヤーは材料としての生産性には優れているが、磁界センサへの応用には、不適当な特性を多く有する。

【0006】たとえば、記録波長が数 μm 以下の記録媒体に対して数十 μm 以下の円形の先端では、先端部における形状の損失により磁束を素子に吸収できないこと、また、交流電流を流すための配線材を接続するための電極部の形成が困難であること、数十 μm の径のワイヤーは、曲がりやすく、素子の位置合わせが困難であること、または、壊れやすいことといった問題点があった。

【0007】そこで、磁気インピーダンス効果素子の感磁部を、軟磁性薄膜や軟磁性薄帯で構成することにより、前記感磁部を任意の厚さや幅、長さで形成することを可能にし、上記の問題点を解決することが提案されている。

【0008】また、磁気インピーダンス効果素子における、外部磁界依存性のインピーダンス変化の直線性を向上させるために、感磁部にバイアス磁界を与えることが有効である。

【0009】図5は、磁気インピーダンス効果素子の磁気インピーダンス効果特性を示すグラフである。

【0010】磁気インピーダンス効果素子を用いて感磁部に駆動交流電源から駆動交流電流を与えた状態で、外部磁界 H_{ex} を、磁気インピーダンス効果素子の素子長手方向に印加する。印加した外部磁界 H_{ex} の大きさを変化させつつ、出力電圧 E_{mi} を測定すると図5のようなグラフが得られる。

【0011】図5の磁気インピーダンス効果特性を示すグラフは、外部磁界 H_{ex} の大きさが H_{p+} あるいは H_{p-} であるときの出力電圧 E_{mi} の値を示す点を頂点とする双峰形状をなしている。また、 H_{p+} と H_{p-} の絶対値の大きさは、ほとんど等しい。

【0012】図5をみると、外部磁界 H_{ex} の大きさが H_{p+} 、あるいは H_{p-} に近づくにつれて、出力電圧 E_{mi} の変化率が大きくなっている。すなわち、外部磁界 H_{ex} の検出感度は、外部磁界 H_{ex} の大きさが H_{p+} あるいは H_{p-} 付近にあるときに良好になる。一方、外部磁界 H_{ex} の大きさが0付近であるときの、出力電圧 E_{mi} の変化率は小さく、外部磁界 H_{ex} の検出感度が低い。

【0013】したがって、磁気インピーダンス効果素子を磁気センサとして用いるときには、外部磁界 H_{ex} =0付近における外部磁界 H_{ex} の検出感度を良好にする

ために、感磁部 M_i の素子長手方向に、例えば、大きさ H_{B1} あるいは、 H_{B2} のバイアス磁界を印加して、磁気インピーダンス効果特性を示すグラフを、外部磁界 H_{ex} の軸方向にシフトさせ、出力電圧の変化率が大きい部分が、外部磁界 H_{ex} =0の軸上に来るようにしていた。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】従来、感磁部にバイアス磁界を印加する方法としては、図6のように、感磁部 M_i の周囲にコイルCを適宜巻き数だけ巻回し、このコイルCに直流電流 I_{dc} を流すことにより、バイアス磁界 H_B を発生させて、感磁部 M_i の素子長手方向に印加していた。

【0015】感磁部 M_i の大きさは、長さ数mm、幅数百 μm と微小であり、このような微小な感磁部の周囲にコイルCを巻回する工程は複雑である。

【0016】また、感磁部 M_i の周囲にコイルCを適宜巻き数だけ巻回すと、磁気インピーダンス効果素子が大型化するという問題も生じる。したがって、磁気インピーダンス効果素子を磁気ヘッドや微弱磁界検出器に適用する際に必要な小型化の障害となる。

【0017】また、特開平11-109006号公報には、薄膜コイルを薄膜磁気コアの周囲に巻き回してバイアスコイルを形成した磁気インピーダンス効果素子が記載されている。

【0018】この磁気インピーダンス効果素子は、図7及び図8に示されるように平面形状が長方形の薄板状に形成された薄膜磁気コアであるMIセンサ板1の周囲に、絶縁物層2、3を介して、バイアスコイル4と負帰還コイル5が同一方向に且つ交互に巻回されている。バイアスコイル4の両端には、バイアスコイル端子6、7が接続され、負帰還コイル5の両端には、負帰還コイル端子8、9が接続されている。MIセンサ板1の両端には、MIセンサ端子10、11が接続されている。

【0019】図7及び図8に示される磁気インピーダンス効果素子では、バイアスコイル4の上層部と下層部、及び負帰還コイル5の上層部と下層部とを、MIセンサ板1の周囲を巻回するように螺旋状に接続して、ソレノイド状の導電層を形成している。しかし、バイアスコイル4の上層部及び負帰還コイル5の上層部をMIセンサ板1及び絶縁物層2からなる段差上で正確にパターン形成することは困難であり、製造上の誤差が大きくなり、また不良品の発生率も高くなるという問題が生じていた。

【0020】本発明は、上記従来の課題を解決するためのものであり、磁気インピーダンス効果素子の感磁部に適切なバイアス磁界を与えることのできる小型で形成容易な導電層を有する磁気インピーダンス効果素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気インピーダ

ンス効果素子は、基板上に磁気インピーダンス効果を有する軟磁性薄膜或いは薄帯を含む略長方形の感磁部と、前記感磁部の素子長手方向の両端部に接続されて駆動交流電流を与えるための電極部と、前記感磁部の上層または下層に絶縁層を介して少なくとも前記感磁部を横切る導体部及び前記導体部の両端部に接続され直流電流を与えるための導電層電極部を有する導電層とが形成されていることを特徴とするものである。

【0022】また、前記導電層は、前記感磁部を横切る導体部が前記感磁部の素子長手方向と垂直方向を向くように形成されることができる。

【0023】また、前記導電層の前記感磁部を横切る導体部が互いに平行方向を向いて複数本形成されており、前記複数本の導体部の両端部が前記導電層電極部に接続されていることもよい。

【0024】なお、前記導電層が、スパイラル状に巻き形成されたコイル層であってもよい。

【0025】前記導電層が、スパイラル状に巻き形成されたコイル層である場合には、前記感磁部と他の前記感磁部とが、それぞれの素子長手方向が互いに垂直方向を向くように形成され、スパイラル状に巻き形成された前記コイル層の1辺に前記感磁部が重なり、前記コイル層の他の1辺に他の前記感磁部が重なるように前記コイル層が形成されていることもよい。

【0026】また、前記絶縁層及び前記導電層上に、絶縁材料からなる保護層が形成され、前記電極部表面及び前記導電層電極部表面が前記保護層表面の同一平面上に露出していることが好ましい。

【0027】前記導電層の前記感磁部を横切る導体部と、前記感磁部との距離が $100\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。或いは、前記導電層の前記感磁部を横切る導体部と、前記感磁部との距離が $10\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。

【0028】また、前記導電層に与えられる直流電流の大きさが 500mA 以下であることが好ましい。あるいは、前記導電層に与えられる直流電流の大きさが 50mA 以下であるとより好ましい。

【0029】前記磁気インピーダンス素子の感磁部は、軟磁性特性を備えた強磁性体の薄膜または薄帯を含むことが必要である。また、 1MHz ～数百 MHz の高周波領域において透磁率 μ が高くてはならない。さらに、外部磁界（放送電波の磁界成分）によって感磁部に応力がかかって磁気特性が劣化しないように、磁歪定数 λ が小さいことが好ましい。

【0030】前記感磁部が、このような性質を備えた薄膜磁性体として形成されるために、前記感磁部が以下に示すような微結晶軟磁性合金薄膜を含むものとして形成されることが好ましい。

【0031】1. 組成式が、 FehMiOj で表され、アモルファス構造を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜。

【0032】ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するもの。

【0033】Feは大きい飽和磁束密度Bsを得るためのものであり平均結晶粒径 30nm 以下のbcc-Feの結晶粒を形成し、MはOと化合した状態でアモルファス相中に存在して比抵抗 ρ を大きくするためのものである。h、i、jが上記範囲であると、飽和磁束密度Bs、比抵抗 ρ 、透磁率 μ が大きい軟磁性合金を得ることができ、h、i、jが上記範囲を外れると、軟磁性特性が劣化する。

【0034】なお、上記組成において元素Mが希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素である場合には、h、jはat%で $50 \leq h \leq 70$ 、 $10 \leq j \leq 30$ であることがより好ましい。

【0035】2. 組成式が、 $(\text{Co}_{1-c}\text{Tc})_x\text{MyXzOw}$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜。ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxであるもの。

【0036】なお、軟磁性合金は、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相に、Coと元素Tを主体とする平均結晶粒径 30nm 以下の微結晶相が混在し、さらに微結晶相は、元素Mの酸化物を含んだ構造を有するものであるとより好ましい。

【0037】3. 組成式が、 $\text{T}_{100-d-e-f-g}\text{XdMeZfQg}$ で表され、bcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Coの1種または2種以上の結晶粒と元素Mの炭化物もしくは窒化物の結晶粒を主体とした平均結晶粒径 30nm 以下の微結晶軟磁性合金薄膜。

【0038】ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはat%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0039】d、e、f、gが上記範囲内にあれば、透磁率 μ が大きく、保磁力 H_c も低く、磁歪定数 λ も小さい軟磁性合金薄膜を得ることができる。

【0040】4. 組成式が、 $T_{100-p-q-e-f-g}Si_pAl_qMeZ_fQ_g$ で表され、 $bcc-Fe$ 、 $bcc-FeCo$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶粒と元素Mの炭化物もしくは窒化物の結晶粒を主体とした平均結晶粒径30nm以下の微結晶軟磁性合金薄膜。

【0041】ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはat%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0042】p、q、e、f、gが上記範囲内にあれば、透磁率 μ が大きく、保磁力 H_c も低く、磁歪定数 λ も小さい軟磁性合金を得ることができる。

【0043】また、前記感磁部が、以下に示すような非晶質軟磁性合金薄膜または薄帯を含むものとして形成されていてもよい。

【0044】5. 組成式が、 $(Fe_{1-a}Co_a)_{100-x-y}(Si_{1-b}B_b) \times My$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄帯。

【0045】ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは $0.05 \leq a \leq 0.1$ 、 $0.2 \leq b \leq 0.8$ であり、x、yはat%で $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するもの。

【0046】前記 $(Fe_{1-a}Co_a)_{100-x-y}(Si_{1-b}B_b) \times My$ 系の軟磁性合金薄膜又は薄帯では、aが $0.05 \leq a \leq 0.1$ の範囲を越えると、磁歪が大きくなるので好ましくない。また、bが $0.2 \leq b \leq 0.8$ の範囲を越えると、非晶質化が困難になり好ましくない。さらに、xが $10 \leq x \leq 35$ の範囲を越えると非晶質化が困難になり好ましくない。また、 $x > 35$ であると磁気特性が劣化するので好ましくない。

【0047】6. 組成式が、 $Co_1Ta_mHf_n$ で表され、アモルファス構造を主体にした非晶質軟磁性合金薄膜。

【0048】ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するもの。

【0049】前記 $Co_1Ta_mHf_n$ 系の軟磁性合金薄膜においては、飽和磁束密度BsはCoの含有量に依存しており、高い飽和磁束密度Bsを得るには、 $70 \leq l$ であることが必要である。しかし、 $l > 90$ であると、比

抵抗 ρ が低くなるので好ましくない。

【0050】TaおよびHfは軟磁気特性を得るための元素であり、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6.6 \leq n \leq 15$ とすることにより、飽和磁束密度Bsが大きく、比抵抗 ρ も大きい軟磁性材料を得ることができる。また、Hfは、Co-Ta系において発生する負の磁歪定数 λ を解消するための元素でもある。磁歪定数 λ は、Taの含有量とHfの含有量の比に依存し、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の範囲内であると、磁歪定数 λ を良好に解消することができる。

【0051】7. 組成式が、 $Co_aZr_bNb_c$ で表されるアモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜。

【0052】ただし、a、b、cはat%で、 $78 \leq a \leq 91$ 、 $0.5 \leq b/c \leq 0.8$ の関係を満足するもの。

【0053】飽和磁束密度BsはCoの濃度に依存し、Bsを大きくするためには、 $78 \leq a \leq 91$ にする必要がある。a>91であると、耐食性が低下すると共にアモルファス構造になりにくくなり、結晶化し始めるので好ましくない。また、a<78であると、Coどうしが隣接する割合が減り、軟磁気特性を示しにくくなるので好ましくない。透磁率 μ も、Coの濃度に依存し、 $78 \leq a \leq 91$ の範囲で高い値を示す。

【0054】また、本発明の磁気インピーダンス効果素子の製造方法は、(a)非磁性材料からなる基板上に、軟磁性薄膜を成膜する工程と、(b)前記軟磁性薄膜を、略長方形にパターン形成して感磁部を、少なくとも一つ、形成する工程と、(c)前記感磁部上に絶縁材料からなる絶縁層を成膜する工程と、(d)前記感磁部の素子長手方向の両端部に接続される電極部を形成する工程と、(e)前記絶縁層上に、少なくとも前記感磁部上を横切る導体部及び前記導体部の両端部に接続され直流電流が与えられる導電層電極部を有する導電層を成膜する工程と、を有することを特徴とするものである。

【0055】また、前記(e)の工程において、前記感磁部を横切る導体部が前記感磁部の素子長手方向と垂直方向を向くように前記導電層を形成することができる。

【0056】また、前記(e)の工程において、前記感磁部を横切る導体部が、互いに平行方向を向くように複数本形成され、さらに前記複数本の導体部の両端部が前記導電層電極部に接続されるように前記導電層を形成することができる。

【0057】或いは、前記(e)の工程において、前記導電層をスパイラル状に巻き形成されたコイル層として形成してもよい。

【0058】なお、前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を一定方向の静磁場中で成膜する工程を有すると、前記感磁部の磁化容易軸方向の制御が容易になるので好ましい。

【0059】あるいは、前記(a)の工程において形成

された前記軟磁性薄膜または、前記(b)の工程において形成された前記感磁部を一定方向の静磁場中で熱処理する工程を有しても、前記感磁部の磁化容易軸方向の制御が容易になる。

【0060】また、前記導電層をスパイラル状に巻き形成されたコイル層として形成したときには、前記(b)の工程において、前記感磁部と他の前記感磁部をそれぞれの素子長手方向が互いに垂直方向を向くように形成し、前記(e)の工程において、スパイラル状に巻き形成された前記コイル層の1辺に前記感磁部が重なり、前記コイル層の他の1辺に他の前記感磁部が重なるように前記コイル層を形成すると2軸の磁気インピーダンス効果素子を形成することができる。

【0061】なお、本発明の磁気インピーダンス効果素子の製造方法では、前記(d)の工程と前記(e)の工程を同時に行なうことができる。

【0062】また、前記(d)の工程において、前記電極層をその表面高さが、前記(e)の工程で形成される前記導電層の前記導体部の表面高さよりも高くなるように形成し、前記(e)の工程において、前記導電層を、前記導電層電極部の表面高さが前記導体部の表面高さよりも高くなるように形成し、さらに、前記(e)の工程の後に、(f)前記導電層上に、絶縁材料からなる保護層を形成する工程と、(g)前記保護層表面を研磨加工して、前記電極部表面及び前記導電層電極部表面を前記保護層表面の同一平面上に露出させる工程を有することが好ましい。

【0063】また、前記(c)の工程において、前記絶縁層の厚さを100 μ m以下で形成することが好ましく、また、前記絶縁層の厚さを10 μ m以下で形成することが好ましい。

【0064】また、前記(a)及び(b)の工程において、前記感磁部を成膜プロセスで形成する代りに、軟磁性材料の熔融合金を冷却ロール上に射出させて接触急冷することにより軟磁性薄帯を形成し、前記軟磁性薄帯を前記基板上に接着する工程を有してもよい。

【0065】磁気インピーダンス効果素子の感磁部を、1MHz～数百MHzの高周波領域における透磁率 μ が高く、磁歪定数 λ が小さい軟磁気特性を備えた強磁性体の薄膜として形成するために、前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜を以下に示すような微結晶軟磁性合金薄膜として形成することが好ましい。

【0066】1. 組成式が、 $\text{Fe}_h\text{M}_i\text{O}_j$ で表され、アモルファス構造を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜。

【0067】ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはat%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するもの。

【0068】Feは大きい飽和磁束密度Bsを得るため

のものであり平均結晶粒径30nm以下のbcc-Feの結晶粒を形成し、MはOと化合した状態でアモルファス相中に存在して比抵抗 ρ を大きくするためのものである。

【0069】2. 組成式が、 $(\text{Co}_{1-c}\text{Tc})_x\text{M}_y\text{X}_z\text{O}_w$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜。ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0.7$ 、x、y、z、wは原子%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、残部がxであるもの。

【0070】なお、軟磁性合金は、元素Mの酸化物を多量に含むアモルファス相に、Coと元素Tを主体とする平均結晶粒径30nm以下の微結晶相が混在し、さらに微結晶相は、元素Mの酸化物を含んだ構造を有するものであるとより好ましい。

【0071】3. 組成式が、 $\text{T}_{100-d-e-f-g}\text{X}_d\text{M}_e\text{Z}_f\text{Q}_g$ で表され、bcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Coの1種または2種以上の結晶粒と元素Mの炭化物もしくは窒化物の結晶粒を主体とした平均結晶粒径30nm以下の微結晶軟磁性合金薄膜。

【0072】ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはat%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0.5 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0073】4. 組成式が、 $\text{T}_{100-p-q-e-f-g}\text{Si}_p\text{Al}_q\text{M}_e\text{Z}_f\text{Q}_g$ で表され、bcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Coの1種または2種以上の結晶粒と元素Mの炭化物もしくは窒化物の結晶粒を主体とした平均結晶粒径30nm以下の微結晶軟磁性合金薄膜。

【0074】ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはat%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 1$

$0, 1 \leq e \leq 10, 0.5 \leq f \leq 1.5, 0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0075】あるいは、前記(a)の工程において、前記軟磁性薄膜または前記軟磁性薄帯を以下に示すような非晶質軟磁性合金薄膜または薄帯として形成してもよい。

【0076】5. 組成式が、 $(Fe_{1-a}Co_a)_{100-x-y}(Si_{1-b}B_b)_xMy$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄帯。

【0077】ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは $0.05 \leq a \leq 0.1, 0.2 \leq b \leq 0.8$ であり、x、yはat%で $10 \leq x \leq 35, 0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するもの。

【0078】6. 組成式が、 $CoTaHf_n$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜。

【0079】ただし、l、m、nはat%で、 $70 \leq l \leq 90, 5 \leq m \leq 21, 6.6 \leq n \leq 15, 1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するもの。

【0080】7. 組成式が、 $CoZrNb_c$ で表されるアモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜。

【0081】ただし、a、b、cはat%で、 $7.8 \leq a \leq 91, 0.5 \leq b/c \leq 0.8$ の関係を満足するもの。

【0082】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の第1の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子を示す斜視図であり、図2は図1の磁気インピーダンス効果素子の縦断面図である。

【0083】図1及び図2の磁気インピーダンス効果素子は、基板17上に磁気インピーダンス効果を有する軟磁性薄膜または薄帯からなる略長方形の感磁部12と、感磁部12の素子長手方向(X方向)の両端部に接続されて駆動交流電流を与えるための電極部13、13と、感磁部12の上層に絶縁層14を介して感磁部12を横切る導体部15a、15a、15a、15a及び前記導体部15a、15a、15a、15aの両端部に接続され直流電流が与えられる導電層電極部15b、15bを有する導電層15とが形成され、絶縁層14及び導電層15上に絶縁性材料からなる保護層16が形成されているものである。

【0084】図1及び図2の磁気インピーダンス効果素子に電極部13、13から素子長手方向(X方向)に駆動交流電流を与え、感磁部12を素子幅方向(Y方向)に励磁する。

【0085】この状態で、外部磁界 H_{ex} が素子長手方向に印加されると、感磁部12のインピーダンスが変化する。感磁部12のインピーダンス変化を、電極部1

3、13間の電圧の変化として取り出す。

【0086】さらに、磁気インピーダンス効果素子の外部磁界依存性のインピーダンス変化の直線性を向上させるために、導電層15に導電層電極部15bから直流電流を印加し、感磁部12の上層を横切る導体部15aの周囲に電流磁界を発生させて感磁部12にバイアス磁界を与えることができる。

【0087】なお、基板17はガラス、Si、SiO₂、Al₂O₃などで形成され、絶縁層14及び保護層16はポリイミド樹脂などの有機材料あるいはSiO₂、Al₂O₃などの無機材料で形成されている。

【0088】電極部13及び導電層15はCu、Alなどの導電性材料からなる。また、本実施の形態では、導電層15は、メッキ法、スパッタ法、蒸着法によってパターン形成されるものであるが、フレキシブル基板(FPC)上に導電層15と同一の導電パターンが形成されたものを、感磁部12上に貼りつけたものであってもよい。

【0089】なお、感磁部12は、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。なお、本実施の形態では、感磁部12は単層の軟磁性薄膜として形成されているが、感磁部12は絶縁層を介して複数層の軟磁性薄膜が積層されたものでよい。また、導体部15a、15a、15a、15aが感磁部12の下層に形成されていてもよい。

【0090】また、本実施の形態では、導電層15は、感磁部12を横切る導体部15a、15a、15a、15aが互いに平行方向を向いて4本形成され、4本の導体部15a、15a、15a、15aの両端部が導電層電極部15b、15bに接続されているものである。導体部15a、15a、15a、15aは、感磁部12の素子長手方向と垂直方向を向くように形成されている。

【0091】本発明の磁気インピーダンス効果素子では、感磁部12と導電層15の間の絶縁層14を薄膜プロセスで形成することができるので、絶縁層14の厚さを非常に薄く形成することができ、導電層15の導体部15aと、感磁部12との距離を短くできる。

【0092】導電層15の導体部15aと、感磁部12との距離は、100μm以下であることが好ましい。

【0093】導電層15に直流電流を流したときに、導体部15aの周囲に発生する電流磁界によって、感磁部12にバイアス磁界が与えられる。導電層15の導体部15aと、感磁部12との距離をa(μm)とすると、感磁部12にb(A/m)のバイアス磁界を与えるために必要な直流電流の大きさI(mA)は次の(数1)によって表される。

【0094】

【数1】

$$I = b \times 2\pi a \times 10^{-3}$$

【0095】感磁部12に与えられるバイアス磁界の大

きさは、80～800 (A/m) 程度必要である。例えば、導体部15aと感磁部12との距離が100 μmであり、必要なバイアス磁界の大きさが800 (A/m) であるとき、導電層15に流す直流電流の大きさI (mA) は、 $I = 800 \times 2\pi \times 100 \times 10^{-3} = 500$ (mA) である。また、必要なバイアス磁界の大きさが80 (A/m) であるとき、導電層15に流す直流電流の大きさI (mA) は、 $I = 80 \times 2\pi \times 100 \times 10^{-3} = 50$ (mA) である。

【0096】従って、必要なバイアス磁界の大きさが800 (A/m) であるとき、導体部15aと感磁部12との距離を、100 (μm) 以下にすると、導電層15に流す直流電流の大きさを500 (mA) 以下にすることができる。また、必要なバイアス磁界の大きさが80 (A/m) であるとき、導体部15aと感磁部12との距離を、100 (μm) 以下にすると、導電層15に流す直流電流の大きさを50 (mA) 以下にすることができる。

【0097】また、必要なバイアス磁界の大きさが800 (A/m) であるとき、導体部15aと感磁部12との距離を、10 (μm) 以下にすると、導電層15に流す直流電流の大きさを50 (mA) 以下にできるのでより好ましい。あるいは、必要なバイアス磁界の大きさが80 (A/m) であるとき、導体部15aと感磁部12との距離を、10 (μm) 以下にすると、導電層15に流す直流電流の大きさを5 (mA) 以下にすることができる。

【0098】このように、本発明では、感磁部12の上層を横切る導電層15の導体部15aと感磁部12との距離を短くできるので、感磁部12に必要なバイアス磁界を与えるために必要な電流を小さくできる。

【0099】また、感磁部12の上層側または下層側のどちらか一方のみ、導電層15の導体部15a、15a、15a、15aが感磁部12を横切るように導電層15を形成するだけで、感磁部12に必要なバイアス磁界を与えることができる。

【0100】なお、感磁部12及び導電層15上には、絶縁材料からなる保護層16が形成されるが、電極部13の表面13a及び導電層電極部15bの表面15b1が保護層16表面の同一平面上に露出していると、プリント基板上に磁気インピーダンス効果素子を接続するときに、電極部13及び導電層電極部15bをプリントパターンに接続させることが容易になる。

【0101】図3は、本発明の第2の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子を示す平面図である。

【0102】図3の磁気インピーダンス効果素子は、基板(図示せず)上に磁気インピーダンス効果を有する軟磁性薄膜または薄帯からなる略長方形の感磁部21と、感磁部21の素子長手方向の両端部に接続されて駆動交流電流を与えるための電極部22、22と、感磁部21

の上層に絶縁層(図示せず)を介して感磁部21を横切る導体部23a及び導体部23aの両端部に接続され直流電流が与えられる導電層電極部23b、23bを有する導電層23とが形成されているものである。なお、導電層23上には絶縁性材料からなる保護層(図示せず)が形成されている。

【0103】図3の磁気インピーダンス効果素子に電極部22、22から素子長手方向(X方向)に駆動交流電流を与え、感磁部21を素子幅方向(Y方向)に励磁する。

【0104】この状態で、外部磁界 H_{ex} が素子長手方向に印加されると、感磁部21のインピーダンスが変化する。感磁部21のインピーダンス変化を、電極部22、22間の電圧の変化として取り出す。

【0105】さらに、磁気インピーダンス効果素子の外部磁界依存性のインピーダンス変化の直線性を向上させるために、導電層23に導電層電極部23b、23bから直流電流を印加し、感磁部21の上層を横切る導体部23aの周囲に電流磁界を発生させて感磁部21にバイアス磁界を与えることができる。

【0106】なお、前記基板はガラス、Si、SiO₂、Al₂O₃などで形成され、前記絶縁層及び前記保護層はポリイミド樹脂などの有機材料あるいはSiO₂、Al₂O₃などの無機材料で形成されている。

【0107】電極部22及び導電層23はCu、Alなどの導電性材料からなる。また、本実施の形態では、導電層23は、メッキ法、スパッタ法、蒸着法によってパターン形成されるものであるが、フレキシブル基板(FPC)上に導電層23と同一の導電パターンが形成されたものを、感磁部21上に絶縁層を介して貼りつけたものであってもよい。

【0108】なお、感磁部21は、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。なお、本実施の形態でも、感磁部21は単層の軟磁性薄膜として形成されているが、感磁部21は絶縁層を介して複数層の軟磁性薄膜が積層されたものでもよい。また、導体部23aが感磁部21の下層側に絶縁層を介して形成されていてもよい。

【0109】導電層23は、一本の導体部23aが感磁部21の上層を、感磁部21の素子長手方向に垂直な方向に横切っているものである。導体部23aは、図3に示す如く、感磁部21をなるべく広い範囲で覆うようにすると、バイアス磁界の磁束が感磁部21の素子長手方向に均一に与えられるので好ましい。

【0110】なお、導電層23の導体部23aと、感磁部21との距離は、100 μm以下であることが好ましい。また、導電層23の導体部23aと、感磁部21との距離が10 μm以下であるとより好ましい。

【0111】なお、導電層23上には、絶縁材料からなる保護層(図示せず)が形成されるが、電極部22、2

2の表面22a、22a及び導電層電極部23b、23bの表面23b1、23b1が保護層表面の同一平面上に露出していると、プリント基板上に磁気インピーダンス効果素子を接続するときに、電極部22、22及び導電層電極部23b、23bをプリントパターンに接続させることが容易になる。

【0112】本発明では、外部磁界の方向と大きさを同時に検出することができる2軸磁気インピーダンス効果素子を構成することもできる。

【0113】図4は、本発明の第3の実施の形態として2軸磁気インピーダンス効果素子を示す平面図である。

【0114】図4の磁気インピーダンス効果素子では、基板（図示せず）上に磁気インピーダンス効果を有する軟磁性薄膜または薄帯からなる略長方形のX方向感磁部31a、Y方向感磁部31bとが形成されている。X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bの素子長手方向の両端部には、それぞれ、駆動交流電流を与えるための、電極部32a、32a及び電極部32b、32bが形成されている。X方向感磁部31aとY方向感磁部31bは、それぞれの素子長手方向が互いに垂直方向を向くように形成されている。

【0115】X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bの上層に絶縁層（図示せず）を介して導電層であるスパイラル状のコイル層33が積層されている。コイル層33は、X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bを横切る導体部33a及び導体部33aの両端部に接続され直流電流が与えられる導電層電極部33b、33bを有している。

【0116】スパイラル状に巻き形成されたコイル層33の導体部33aの1辺にX方向感磁部31aが重なり、導体部33aの他の1辺にY方向感磁部31bが重なるようにコイル層33が形成されている。なお、コイル層33上には絶縁性材料からなる保護層（図示せず）が形成されている。

【0117】なお、前記基板はガラス、Si、SiO₂、Al₂O₃などで形成され、前記絶縁層及び前記保護層はポリイミド樹脂などの有機材料あるいはSiO₂、Al₂O₃などの無機材料で形成されている。

【0118】電極部32a及び32b並びにコイル層33はCu、Alなどの導電性材料からなる。

【0119】また、本実施の形態では、コイル層33は、メッキ法、スパッタ法、蒸着法によってパターン形成されるものであるが、フレキシブル基板（FPC）上にコイル層33と同一の導電パターンが形成されたものを、X方向感磁部31a及びY方向感磁部31b上に貼りつけたものであってもよい。

【0120】なお、X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bは、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0121】なお、本実施の形態でも、X方向感磁部3

1a及びY方向感磁部31bは単層の軟磁性薄膜として形成されているが、X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bは絶縁層を介して複数層の軟磁性薄膜が積層されたものでもよい。また、コイル層33がX方向感磁部31a及びY方向感磁部31bの下層側に絶縁層を介して形成されていてもよい。

【0122】なお、コイル層33の導体部33aと、X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bとの距離は、100μm以下であることが好ましい。また、コイル層33の導体部33aと、X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bとの距離10μm以下であるとより好ましい。

【0123】本実施の形態の2軸磁気インピーダンス効果素子では、電極部32a、32aからX方向感磁部31aに駆動交流電流を与え、さらに、電極部32b、32bからY方向感磁部31bに駆動交流電流を与えた上で、図4の任意の方向から外部磁界を印加し、X方向感磁部31a及びY方向感磁部31bのインピーダンス変化から、X軸方向及びY軸方向の外部磁界の大きさを検出し、ベクトル和をとることによって、外部磁界の大きさ及び方向を検出することができる。

【0124】さらに、磁気インピーダンス効果素子の外部磁界依存性のインピーダンス変化の直線性を向上させるために、コイル層33にコイル層電極部33b、33bから直流電流を印加し、導体部33aの周囲に電流磁界を発生させてX方向感磁部31a及びY方向感磁部31bにバイアス磁界を与えることができる。

【0125】なお、コイル層33上には、絶縁材料からなる保護層（図示せず）が形成されるが、電極部32a、32aの表面32a1、32a1、電極部32b、32bの表面32b1、32b1及び導電層電極部33b、33bの表面33b1、33b1が、保護層表面の同一平面上に露出していると、プリント基板上に磁気インピーダンス効果素子を接続するときに、電極部32a、32a、電極部32b、32b及び導電層電極部33b、33bをプリントパターンに接続させることが容易になる。

【0126】前述の感磁部12及び感磁部21並びにX方向感磁部31a及びY方向感磁部31bは、例えば、組成式がFe_{71.4}Al_{5.8}Si_{13.1}Hf_{3.3}Ca_{4.5}Ru_{1.9}（at%）で表される、bcc-Feの結晶粒を主体とし、bcc-Feの周囲にHfCの結晶粒が存在する結晶粒径5〜30nmの微結晶軟磁性合金薄膜である。

【0127】この組成以外のT-X-M-Z-Q系（元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alの内どちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、C

r, Re, Ru, Rh, Ni, Pd, Pt, Auから選ばれる1種または2種以上の元素)の平均結晶粒径30nm以下のbcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Coなどの結晶粒と元素Mの炭化物もしくは窒化物の結晶粒を主体とする微結晶軟磁性合金薄膜や、Co-T-M-X-O系(元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, Si, P, C, W, B, Al, Ga, Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au, Ag, Cu, Ru, Rh, Os, Ir, Pt, Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、bcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Co等からなる結晶粒径10~30nmの結晶相とMの酸化物を含む非晶質相からなる微結晶軟磁性合金薄膜や、Fe-M-O系(Mは、Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、bcc-Feを主体とする結晶粒径10~30nmの結晶相とMの酸化物を含む非晶質相からなる微結晶軟磁性合金薄膜として、感磁部12及び感磁部21並びにX方向感磁部31a及びY方向感磁部31bが形成されていてもよい。

【0128】あるいは、Fe-Co-Si-B-M系(Mは、Cr, Ruのうちいずれか一方あるいは両方を含む元素)の非晶質軟磁性合金薄膜または薄帯や、Co-Ta-Hf系の非晶質軟磁性合金薄膜や、Co-Zr-Nb系の非晶質軟磁性合金薄膜として、感磁部12及び感磁部21並びにX方向感磁部31a及びY方向感磁部31bが形成されていてもよい。

【0129】図1及び図2に示された磁気インピーダンス効果素子の製造方法を説明する。まず、非磁性材料からなる基板17上に、軟磁性薄膜を成膜し、前記軟磁性薄膜を、略長方形にパターン形成して感磁部12を形成する。

【0130】前記軟磁性薄膜を成膜するとき、一定方向の静磁場中で成膜すると、感磁部12の磁化容易軸方向の制御が容易になる。あるいは、前記軟磁性薄膜または、前記軟磁性薄膜をパターン形成して形成された感磁部12を一定方向、例えば素子幅方向、の静磁場中で熱処理する工程を有しても、感磁部12の磁化容易軸方向の制御が容易になる。

【0131】さらに、感磁部12上に絶縁材料からなる絶縁層14をスパッタ法などを用いて成膜する。絶縁層14の厚さは100μm以下で形成することが好ましく、より好ましいのは、10μm以下で形成することである。なお、感磁部12の両端部は電極層13、13が接続される領域であるので、感磁部12の両端部上には絶縁層14は形成されないようにする。

【0132】次に、感磁部12の素子長手方向の両端部に接続される電極部13、13と、感磁部12を横切る

互いに平行方向を向いた導体部15a、15a、15a、15a及び導電層電極部15b、15bを有する導電層15とを、導電性材料を用いて、メッキ法、スパッタ法、または蒸着法によって形成する。導体部15a、15a、15a、15aは、感磁部12の素子長手方向と垂直方向を向くように形成する。

【0133】また、電極層13、13及び導電層15を形成するときには電極層13、13の基板17からの表面高さ及び導電層電極部15bの表面高さが、導電層15の導体部15a、15a、15a、15aの表面高さよりも高くなるように形成した後、導電層15及び絶縁層14上に、絶縁材料からなる保護層16を形成し、保護層16表面を研磨加工することにより、電極部13、13の表面13a、13a及び導電層電極部の表面15b1、15b1を保護層16表面の同一平面上に露出させることができる。

【0134】なお、基板17はガラス、Si、SiO₂、Al₂O₃などで形成され、絶縁層14及び保護層16はポリイミド樹脂などの有機材料あるいはSiO₂、Al₂O₃などの無機材料で形成されている。

【0135】電極部13及び導電層15はCu、Alなどの導電性材料からなる。なお、感磁部12は、後述する軟磁性薄膜もしくは薄帯によって形成される。

【0136】また、図4に示された磁気インピーダンス効果素子を形成するときには、基板上に軟磁性薄膜を成膜した後、X方向感磁部31aとY方向感磁部31bとを、それぞれの素子長手方向が互いに垂直方向を向くようにパターン形成し、X方向感磁部31aとY方向感磁部31b上に絶縁層を積層した後、前記絶縁層上にスパイラル状に巻き形成されたコイル層33を、CuやAlを材料として用い、メッキ法、スパッタ法、または蒸着法などを用いて形成する。

【0137】コイル層33を形成するとき、導体部33aの1辺にX方向感磁部31aが重なり、導体部33aの他の1辺にY方向感磁部31bが重なるようにコイル層33を形成する。

【0138】なお、コイル層33を形成するとき同時に、X方向感磁部31aの電極部32a、32a及びY方向感磁部31bの電極部32b、32bを形成してもよい。

【0139】感磁部12、X方向感磁部31a、又はY方向感磁部31bは、例えば、組成式がFe_{71.4}Al_{5.8}Si_{13.1}Hf_{3.3}C_{4.5}Ru_{1.9}で表される、bcc-Feの結晶粒とHfCの結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜である。

【0140】この組成以外のT-X-M-Z-Q系(元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alの内どちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, Wから選ばれる1種

または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素)の平均結晶粒径30nm以下のbcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Coなどの結晶粒と元素Mの炭化物もしくは窒化物の結晶粒を主体とする微結晶軟磁性合金薄膜や、Co-T-M-X-O系(元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、bcc-Fe、bcc-FeCo、bcc-Co等からなる結晶粒径10~30nmの結晶相とMの酸化物を含む非晶質相からなる微結晶軟磁性合金薄膜や、Fe-M-O系(Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素)の組成を有し、bcc-Feを主体とする結晶粒径10~30nmの結晶相とMの酸化物を含む非晶質相からなる微結晶軟磁性合金薄膜として、感磁部12並びにX方向感磁部31a及びY方向感磁部31bを形成してもよい。

【0141】あるいは、Fe-Co-Si-B-M系(Mは、Cr、Ruのうちいずれか一方あるいは両方を含む元素)の非晶質軟磁性合金薄膜または薄帯や、Co-Ta-Hf系の非晶質軟磁性合金薄膜や、Co-Zr-Nb系の非晶質軟磁性合金薄膜として、感磁部12、X方向感磁部31a、又はY方向感磁部31bを形成してもよい。

【0142】なお、本実施の形態では、前記軟磁性薄膜の成膜をRFマグネトロンスパッタ装置を用いて以下の条件で行った。

【0143】高周波電力:200~400(W)

Arガス圧:50(sccm)

成膜時圧力:3~7(mTorr)

成膜時静磁場強度:800以上(A/m)

成膜速度:10~33.5(nm/分)

なお、標準条件は、高周波電力が400(W)、Arガス圧が50(sccm)、成膜時圧力が7(mTorr)、成膜時静磁場強度が4800(A/m)、成膜速度が33.5(nm/分)である。また、基板の冷却は間接冷却によって行った。

【0144】なお、感磁部12、X方向感磁部31a、又はY方向感磁部31bを、軟磁性薄帯で形成する場合には、軟磁性材料の熔融合金を冷却ロール上に射出させて接触急冷することにより軟磁性薄帯を形成し、前記軟磁性薄帯を基板17上に接着すればよい。

【0145】

【発明の効果】以上、詳細に説明した本発明の磁気インピーダンス効果素子では、バイアス磁界を与えるための前記導電層を、成膜プロセスを用いてパターン形成することができるので、前記導電層の小型化が容易になり、磁気インピーダンス効果素子の小型化を容易に達成できる。

【0146】また、前記感磁部と前記導電層の間の前記絶縁層を薄膜プロセスで形成することができるので、前記絶縁層の厚さを非常に薄く形成することができ、前記導電層の前記導体部と、前記感磁部との距離を短くできる。

【0147】従って、前記感磁部に必要なバイアス磁界を与えるために必要な電流を小さくできる。

【0148】また、前記感磁部の上層側または下層側のどちらか一方でのみ、前記導電層の導体部が前記感磁部を横切るように前記導電層を形成するだけで、前記感磁部に必要なバイアス磁界を与えることができるので製造が容易である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子を示す斜視図、

【図2】図1の磁気インピーダンス効果素子の縦断面図、

【図3】本発明の第2の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子を示す平面図、

【図4】本発明の第3の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子を示す平面図、

【図5】磁気インピーダンス効果素子の磁気インピーダンス効果特性を示すグラフ、

【図6】磁気インピーダンス効果素子に駆動交流電流を与え、外部磁界を印加する方法を示す概念図、

【図7】磁気インピーダンス効果素子の従来例を示す平面図、

【図8】図7の磁気インピーダンス効果素子のA-B線における断面図、

【符号の説明】

17 基板

12、21 感磁部

31a X方向感磁部

31b Y方向感磁部

13、22、32a、32b 電極層

14 絶縁層

15、23 導電層

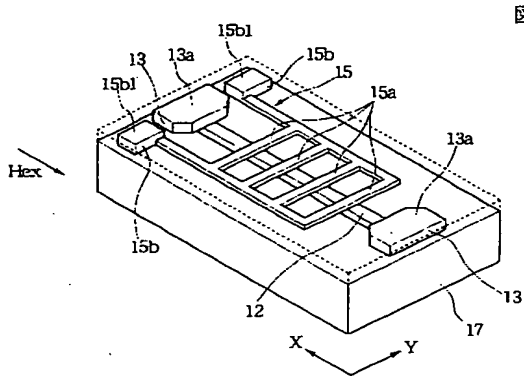
15a、23a、33a 導体部

15b、23b、33b 導電層電極部

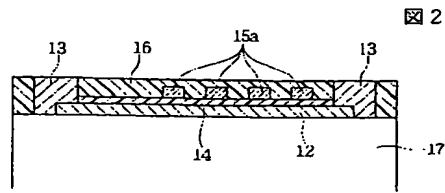
16 保護層

33 コイル層

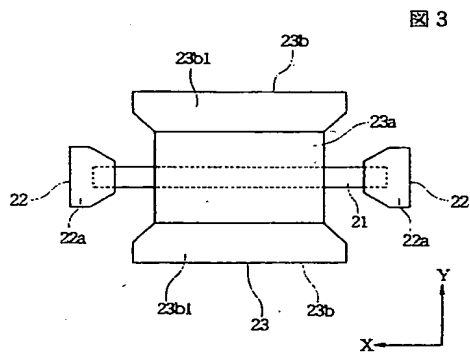
【图 1】



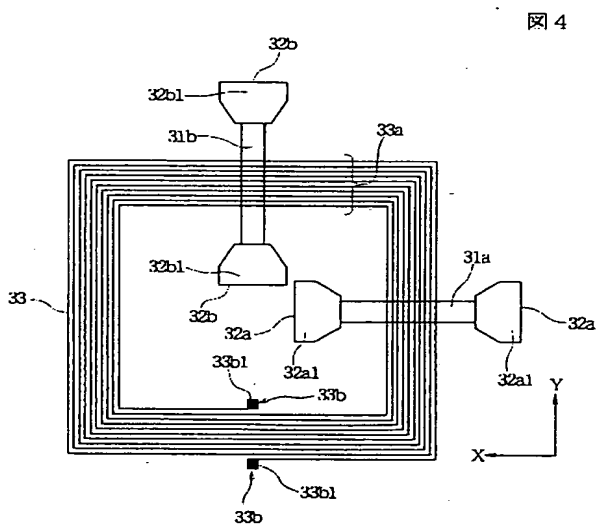
【図 2】



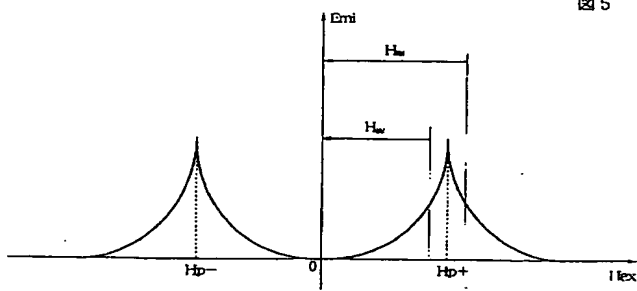
【図 3】



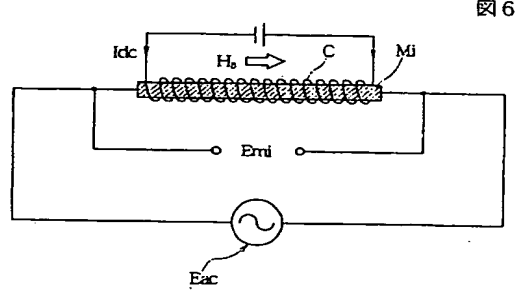
【图 4】



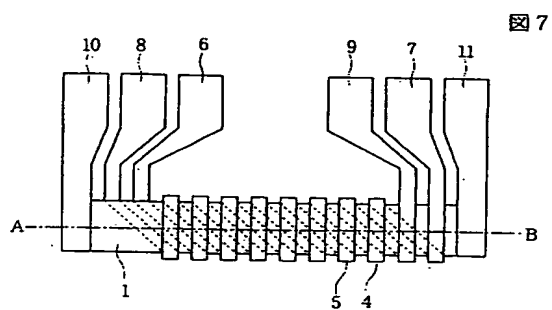
【図 5】



【图 6】



【図7】



【図8】

